

## Doing the Math

# De knooppunten van een nieuw energienetwerk

*De duurzame stroom komt het elektriciteitsnetwerk niet op of af. Lastig voor wie zonnepanelen op het dak heeft, maar ook voor bedrijven die willen uitbreiden en verduurzamen. Adviesbureau Doing the Math vroeg de deelnemers aan SWI om wiskundige tools die bedrijventerreinen kunnen helpen zo zelfvoorzienend mogelijk te worden.*

Wanneer een ander deelnemend bedrijf een week voor de start van de Studiegroep Wiskunde met de Industrie (SWI) uitvalt, hoeft econometrist John Poppelaars niet lang te denken: hij stapt graag in met een uitdaging aan de wiskundigen. Poppelaars' adviesbureau *Doing the Math* helpt bedrijven met wiskundige tools allerlei duurzaamheidsvragen door te denken. Daar is wel een pittig vraagstuk voor SWI uit te halen.

Kunnen de deelnemers bijvoorbeeld modelleren hoe bedrijventerreinen het beste hun duurzame energieopwekking en energieopslag kunnen delen? Zo'n tool moet niet alleen doorrekenen hoeveel zonnepanelen en batterijcapaciteit bedrijven nu nodig hebben, maar ook hoe ze verstandig kunnen groeien en investeren om verder te vergroenen.

Aan visie geen gebrek: Poppelaars houdt de SWI-ers een toekomst voor waarin zulke bedrijventerreinen knooppunten worden in een groter energienetwerk. Grootverbruikers die meer op eigen groene benen staan zijn niet alleen goed voor die bedrijven en voor het milieu, denkt Poppelaars, maar ook voor netbeheerders die kampen met een overvol energienet.

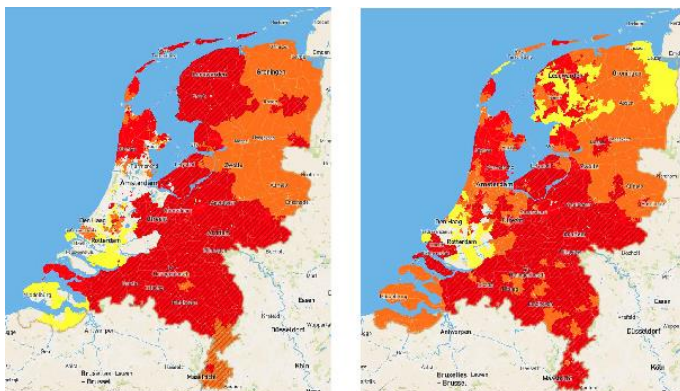


Hoogspanningsmast. Bron: [Windpowerengineering.com](http://Windpowerengineering.com)

### Tot de kern

Een alternatief energienetwerk doordenken in de krap vier werkdagen van SWI is zacht gezegd een uitdaging. Naast verschillende technologieën spelen namelijk ook wijd uiteenlopende tijdschalen mee, van dagelijks inspelen op de veranderende weersomstandigheden, tot plannen van meerjarige investeringscycli bij het uitbreiden van de duurzame energieinstallaties.

Een interessant vraagstuk, maar te groot en complex om in een week te kraken, oordelen de SWI-ers dan ook. Deelnemer Martijn Onderwater, gepromoveerd in de wiskunde aan de Vrije Universiteit Amsterdam, neemt na een uitstap naar het bedrijfsleven deel aan SWI om weer aan de wiskunde te snuffelen. "We zeiden al heel snel tegen elkaar: dit is veel te groots, dat krijgen we niet uitgewerkt in een week tijd."



Die complexiteit was paradoxaal ook wat Onderwater aantrok in de opdracht. "De originele opdracht was erg vaag en breed, maar als wiskundige leer je om door te vragen en snel tot de kern van een probleem te komen. We vroegen elkaar: 'Waar gaat dit nou eigenlijk over? En kunnen we in een paar dagen iets opzetten, dat later kan uitgroeien tot een algemenere tool?' "

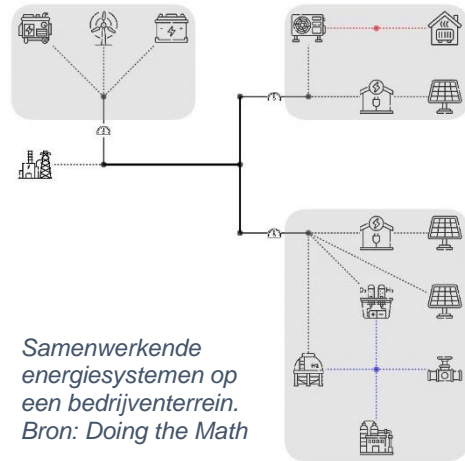
*Het Nederlandse stroomnet heeft weinig overcapaciteit om stroom in of uit het netwerk te sturen.*

Bron: <https://capaciteitskaart.netbeheernederland.nl>

## Experts

Samen met John Poppelaars werken de vijf wiskundigen een behapbare deelopdracht uit, over de beste manier om van dag tot dag de gedeelde energieproductie en -opslag op een bedrijventerrein te optimaliseren. Die berekening moet rekening houden met het eigen verbruik en de opbrengst van de zonnepanelen op het terrein, maar ook de capaciteit van de gedeelde batterij en hoeveel het kost en opbrengt om stroom in te kopen of te verkopen.

Na een gemeenschappelijke notatie in te voeren om elkaars resultaten te kunnen vergelijken, gaan de wiskundigen in twee teams uiteen. Dat is heel natuurlijk, denkt Onderwater: " Als je een probleem eenmaal goed hebt geformuleerd, zijn er in de wiskunde allerlei methodes om vraagstukken op te lossen. We hadden twee teamleden die elk expert waren in een andere techniek; het lag voor de hand om die in twee teams uit te proberen."

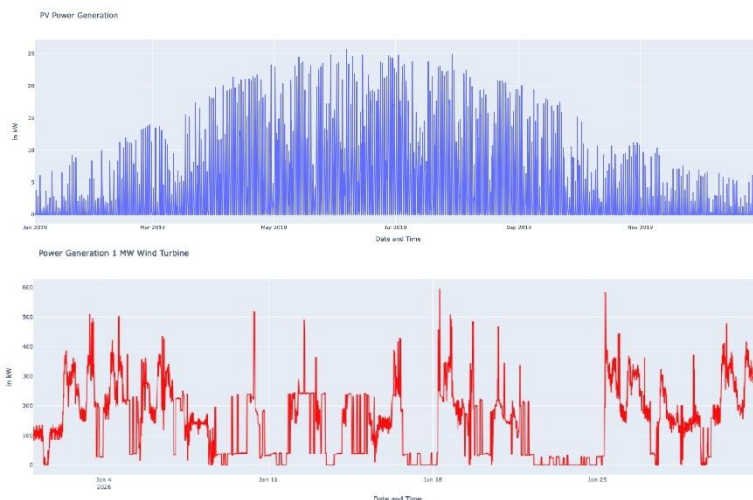


## Kansspel

Hoe modelleren je zoiets onvoorspelbaars als de hoeveelheid zon per uur en de prijs van netstroom? In hun eerste aanpak gebruiken de SWI-ers een *stochastische* aanpak die zulke getallen van uur tot uur varieert. Tegen die achtergrond draait een algoritme dat tegen zo laag mogelijke kosten het energieverbruik van het bedrijf moet dekken. De batterij mag daarbij niet voller raken dan de maximum capaciteit, of onder een minimale noodcapaciteit komen.

Een gesimuleerde dag begint met een volle batterij, om te compenseren dat de zonnepanelen door de lage zonnestand nog weinig energie leveren. In opeenvolgende tijdstappen kiest het algoritme of het bedrijf de elektriciteit krijgt uit de zonnepanelen, de batterij of het elektriciteitsnetwerk.

Het model blijkt complex genoeg om verschillende tactieken mee uit te testen, zoals continu stroom kopen of verkopen, of juist voornamelijk interen op de batterij tot de zonnepanelen genoeg stroom leveren om de eigen vraag te dekken of zelfs stroom te verkopen aan het elektriciteitsnetwerk.



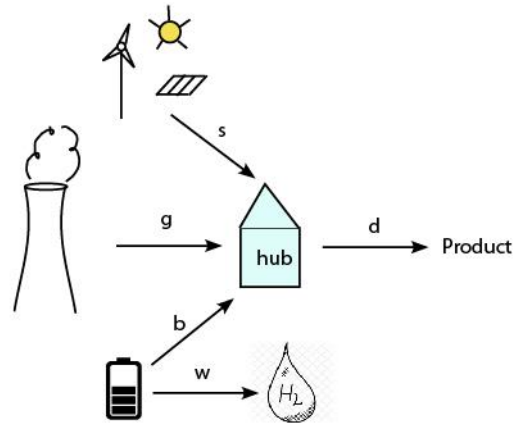
*Duurzame energie is sterk variabel op een schaal van uren, dagen en maanden. In blauw de variatie in de opbrengst van een zonnepaneel gedurende een jaar, in rood die van een windmolen gedurende de maand januari.*  
Bron: Doing the Math

Slim spelen met die in- en verkooptechniek blijkt fictieve energiekosten terug te kunnen brengen van 18 geldeenheden per dag tot 13, of zelfs 6. In dat laatste geval weigert het algoritme om tijdens de dure piekuren van 12u tot 18u stroom in te kopen. Sterker nog; met dynamisch inkoopgedrag komt het er zelf achter dat het slim is om vlak voor die piek de batterij af te topen met netstroom, om die tegen hogere prijs terug te verkopen.

## Holle bolle functies

In de energietransitie en het modelleren daarvan zijn er altijd meerdere wegen naar Rome. Zo werken de SWI-deelnemers naast hun stochastische model een andere formulering uit die de energiehuishouding van hun bedrijventerrein beschrijft in ongelijkheden.

Martijn Onderwater: "Dit is een iets andere aanpak dan het stochastische model. Met deze tweede aanpak krijg je uiteindelijk een hol of bol lopende grafiek (in vaktermen: convex of concaaf) die je probleem beschrijft. Door de manier waarop we het probleem formuleren zit de beste oplossing altijd bij een extreem. De techniek om dat optimum te vinden werkt heel snel, dat is een voordeel boven de uitgebreide simulatie van energiestromen in het andere model."



Cartoon van een energieknooppunt.  
Bron: SWI-team Doing the Math

Twee rekenmodellen op verschillende leest, hoe vergelijk je die fatsoenlijk? De wiskundigen gingen weliswaar in gespecialiseerde clubjes uiteen, maar hielden dagelijks contact om elkaar bij te praten. "We hadden het geluk dat ons teamlid, nu bezig aan haar promotie in Oxford, beide wiskundige technieken in de vingers had", vertelt Onderwater. "Daardoor kon ze niet alleen sparringpartner zijn voor onze twee experts, ze werd als vanzelf de brug die ons als team bij elkaar hield. Dat was indrukwekkend om te zien."

## Ondersteunend

Vergeleken met het originele verzoek om de samenstelling en uitbreiding van kleine energiemaatschappijen te modelleren, lijkt een rekentool voor de energiehuishouding van het zonnepark misschien een wat bescheiden opbrengst. Maar opdrachtgever John Poppelaars ziet groeipotentieel.

"Dit klinkt als een klein probleem, maar het is een handige tool voor bedrijven om mee uit te werken wat voor capaciteit aan zonnepanelen en batterijen ze nodig hebben", denkt Poppelaars. Het tekent de stijl van Doing the Math, dat wiskundige tools ontwikkelt om managers te ondersteunen in hun besluitvorming. Bijvoorbeeld als er bedrijven bij komen op het terrein, of als er naast elektriciteit ook duurzame warmte of waterstof wordt geproduceerd en opgeslagen.

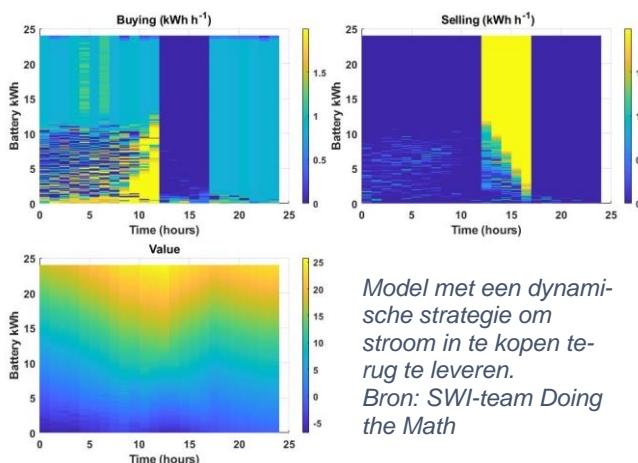
## Uitbreiden

"Waterstof maken uit duurzame stroom als langdurige energieopslag naast batterijen hebben we uiteindelijk niet uitgebreid doorgerekend", vertelt wiskundige Martijn Onderwater. Een gevolg van tijdsgerebrek: een extra opslagmedium is zo in formules gezet, maar maakt het vraagstuk meteen complexer

om op te lossen. Dat moet namelijk gaan kiezen tussen verschillende routes om energie heen te sturen.

In de drie werkdagen van SWI was waterstofopslag teveel gevraagd, denkt ook opdrachtgever John Poppelaars. "Die uitbreiding kan later komen. Het is goed om nu te zien hoe goed de basis al werkt."

Gevraagd of zijn originele vraagstelling niet te ambitieus was: "Ik heb me geen moment zorgen gemaakt dat ik deze case 'te groot'



Model met een dynamische strategie om stroom in te kopen terug te leveren.  
Bron: SWI-team Doing the Math

heb gemaakt. Wiskunde is veel meer dan sommetjes oplossen, het helpt je gedachten te structureren, complexe problemen te doorzien en daar behapbare vragen van maken. Dat is ook hier perfect gelukt."

Gaan de rekenmodellen van de SWI-ers ook echt gebruikt worden? Poppelaars ziet kansen. Zijn vraagstuk over lokale industrieterreinen die hun stroom en warmte delen is namelijk ook interessant voor netbeheerders, als manier om het hoofdnet te ontlasten. "Die organisaties inventariseren nu al waar de komende jaren nieuwe knelpunten kunnen ontstaan. Als bedrijven door slim samenwerken minder op het hoofdnetwerk hoeven te leunen en misschien zelfs als energieopslag kunnen dienen voor de omgeving, is dat winst voor iedereen."